

Läckagebenägen fosfor i sediment Mulövikén, Granöfjärden, och Bergnäs-fjärden

Potential för internbelastning och behandling med aluminium

Brian Huser

Rapport 2019:8

Referera gärna till rapporten på följande sätt:

<http://www.slu.se/institutioner/vatten-miljo/Publikationer/>

Kontakt

Brian.huser@slu.se

<http://www.slu.se/vatten-miljo>

Läckagebenägen fosfor i sediment Mulövikén, Granöfjärden, och Bergnäsfjärden
Potential för internbelastning och behandling med aluminium

Författare: Brian Huser

Rapport: 2019:8

Datum: december 2019

Rapporten är framtagen på uppdrag av Länsstyrelse i Norrbotten län.

Innehåll

Sammanfattning.....	1
Ordlista.....	2
1 Inledning.....	3
1.1 Bakgrund.....	3
1.2 Uppdraget.....	3
2 Metoder.....	4
2.1 Deltagande personer.....	4
2.2 Provtagning.....	4
2.3 Analyser.....	4
2.4 Modellering.....	5
3 Resultat.....	7
3.1 Läckagebenägenfosfor.....	7
3.1.1 Läckagebenägen fosfor i samtliga vikar.....	9
4 Minskning av internbelastning med aluminium.....	13
5 Aluminiumdos.....	13
5.1 Utformning av aluminiumbehandling.....	15
6 Rekommendationer.....	17
7 Referenser.....	18
Bilaga A.....	20

Sammanfattning

Syftet med denna undersökning har varit att undersöka hur stor andel läckagebenägen fosfor som finns i sedimenten i Mulövikens, Granöfjärden, och Bernäsfjärden bottensediment. Insamlad information har utgjort underlag för att göra beräkningar av potentiell internbelastning av fosfor, bedöma lämplighet för aluminiumbehandling, och vilka aluminiumdoser som krävs för att fastlägga fosfor.

Sediment från Mulövikens, Granöfjärden, och Bernäsfjärden har hämtats och analyserats. Den totala mängden läckagebenägen fosfor i vikarnas bottensediment har analyserats. Vikarna har halter av läckagebenägenfosfor i sedimenten som kan bidra till en förhöjd internbelastning av fosfor. läckagebenägen fosfor varierade stort och låg mellan $1,7 \text{ g/m}^2$ till $22,3 \text{ g/m}^2$ i samtliga vikar. Oftast fanns det mer läckagebenägen fosfor i djupare delar av vikarna. Den högsta potentiella internbelastning (medel) var $6,9 \text{ mg/m}^2/\text{d}$ i Mulövikens, $10,9 \text{ mg/m}^2/\text{d}$ i Granöfjärden, och $5,2 \text{ mg/m}^2/\text{d}$ i Bernäsfjärden. Värdena anses vara höga för grunda sjöar. För att fastlägga läckagebenägen fosfor krävs det 89 g/m^2 aluminium i samtliga vikarna. Dosen ligger mittemellan de doser som har tillsatts eller planeras att tillsättas i andra svenska sjöar.

Sedimenten i vikarna är annorlunda än i inlandssjöar. Därför bör några ytterligare studier göras innan behandling av internbelastning genomförs. Inkubering av ett antal sedimentproppar skulle göras för att mäta internbelastning direkt. Sjömodellering skulle också utföras för att säkerställa vilka källor av fosfor som måste reduceras, och hur mycket, för att vikarna ska nå vattenkvalitetsnormerna. Det innebär övervakning av sjöarna och samtliga inlopp samtidigt och sedan utveckling av en sjömodell. Med en sådan modell kan åtgärdsscenarier göras för att se effekten av minskning av båda intern och externbelastning i vikarna.

Ordlista

- Aktivt sedimentdjup – den delen av sedimentet som interagerar med vattnet. Mobil fosfor som finns i det aktiva sedimentdjupet kan, till exempel, frigöras till vattnet, medan fosfor som ligger bundet djupare inte frigörs
- Anoxiskt – Syrefattiga förhållanden i vattnet
- Fosforkoncentration – hur mycket fosfor som är bundet till en sedimentpartikel
- Fosformassa – hur mycket fosfor som finns i en viss volym av sediment
- Internbelastningshastighet – hur fort fosfor frigörs från sedimenten. Enheten är mg fosfor som frigörs från en kvadratmeter sedimentyta per dag ($\text{mg}/\text{m}^2/\text{d}$)
- Mobil (rörlig) fosfor – de fosforformer som lätt frigörs från sediment, till exempel fosfor i sedimentets porvatten, löst bunden fosfor, och fosfor bunden till järn
- Organisk fosfor – fosfor som finns i organiskt material såsom alger och makrofyter
- Läckagebenägen fosfor - mobil + labil organisk fosfor samt rest fosfor

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Huvuddelen av den fosfor som finns i tillrinnande vatten lagras i botten sedimenten i en sjö. Ju mer fosfor som tillförs sjön, ju mer lagras i sedimenten. När de alger som växer till under sommaren dör blir de en del av sedimentet i form av organiskt material. När det organiska materialet sedan bryts ned kan det leda till syrefattiga eller syrefria förhållanden på sjöbotten under sommaren. Under dessa förhållanden börjar fosfor att läcka från sedimentet, vilket leder till en ond cirkel där alger växer till ännu mer och fortsätter att förse sedimentet med organiskt material.

Läckage av fosfor från sedimenten kan även ske när det inte råder syrefria förhållanden. Nedbrytning av organiskt material, som innehåller fosfor, ökar under sommaren när temperaturen stiger. Då frigörs mer fosfor från det organiska materialet. Både låga syrehalter och höga temperaturer bidrar alltså till läckage av fosfor från sediment så kallad internbelastning. Det kan ta över hundra år för vissa sjöar att återhämta sig naturligt från en förhöjd internbelastning av fosfor och den fosfor som har frigjorts från sedimentet kommer också att påverka vattenförekomster nedströms om inga åtgärder genomförs.

Fastläggning av fosfor i sediment är en åtgärd som har använts i över femtio år. Metoden innebär att löslig/mobil fosfor binds till aluminium och bildar ett mineral som kan finnas kvar i sedimenten även under syrefattiga förhållanden. Några fördelar med metoden är att det sker en ökning (eller reducerad minskning) av syrgashalten i bottenvattnet då produktiviteten, det vill säga tillväxten av alger i sjön och sedimentationen av organiskt material minskar efter behandling. Oftast ökar även siktdjupet efter behandlingen på grund av mindre tillväxt av alger. Aluminiumbehandling har genomförts i fler än 20 sjöar i Sverige och i hundratals sjöar runt om i världen (Huser et al. 2016a). Även andra ämnen, förutom fosfor, har visat sig att minska efter behandling. Tungmetaller och organiska gifter, såsom PAH:er har minskat kraftigt i sjöar som har behandlats med aluminium (Växjösjön och Södra Bergundasjön, Huser et al. 2020).

1.2 Uppdraget

Synlab AB har, tillsammans med SLU, fått i uppdrag av Norrbottens Länsstyrelsen att undersöka hur stor andel läckagebenägen fosfor som finns i sedimenten i vattenförekomsterna Mulövik, Granöfjärden och Bergnäsöfjärden. Uppdraget är även att bedöma om aluminiumbehandling är en lämplig åtgärd för att minska internbelastning av fosfor, samt att beräkna erforderlig aluminium dos för vikarna.

2 Metoder

2.1 Deltagande personer

Följande personer har deltagit i projektet:

Synlab (Provtagning, sedimentanalyser-totalfosfor)

Oscar Norlin-Agstam, Sveriges lantbruksuniversitet (Sedimentanalyser-fosfor fraktionering).

Brian Huser, SLU/Sjörestaurering Sverige AB (Modellering, beräkningar och rapport).

Katrin Nielsen, Vestri konsult AB (korrekturläsning av rapport).

2.2 Provtagning

32 sedimentproppar togs från Alla vikar den 19 september 2019 (Figur 1). Vattendjupet noterades vid varje provtagningspunkt och en karakterisering av sedimenten gjordes (lukt, färg och konsistens). Sedimenten skiktades omedelbart och skikten från 0-2, 2-4, 4-6, 6-10, 10-15, 15-20 och 25-30 centimeters djup sparades. Provpunkternas lägen redovisas med koordinater i Bilaga A.

2.3 Analyser

I en fraktionerad fosforanalys extraheras olika former av fosfor ur provet i olika steg: H_2O -P (porvatten och löst bunden/lätt löslig fosfor), BD-P (järnbunden fosfor), NaOH-P (aluminiumbunden fosfor), NaOH org-P (organisk fosfor) och HCl-P (kalciumbunden fosfor). Metoden finns ursprungligen beskriven av Psenner et al. (1988) och har modifierats av Hupfer et al. (1995). Läckagebenägen fosfor i sedimenten återfinns i huvudsak i de tre fraktionerna (1) löst bunden fosfor, (2) järnbunden fosfor, och (3) organisk fosfor. Totalfosfor analyserades också i samtliga proppar. Samtliga data redovisas i Bilaga A.

Löst bunden fosfor är direkt tillgänglig i vattenmassan, medan järnbunden fosfor kan bli lättillgänglig då syrgashalten är mindre än ca 2 mg/L. Dessa två fraktioner kallas också för ”mobil” fosfor. Organisk fosfor frigörs från organiskt material under nedbrytning och blir sedan en del av den mobila fosforfraktionen. Processen tar tid, från månader till år. En svårnedbrytbar rest av organisk fosfor finns kvar i djupare skikt och utgör bakgrundskoncentrationen. Dessa bakgrundskoncentrationer subtraheras från höga halter i ytligare sedimentlager för att beräkna mängden läckagebenägen fosfor.

Det kan också finnas en del läckagebenägen fosfor i restfraktionen. Restfraktionen är mängden fosfor som finns kvar efter att alla fraktioner ovan har extraherats.

Vattenhalt och halten organiskt material i sedimenten kvantifierades enligt Håkanson och Jansson (1983). Proverna frystes 24 timmar (-20 °C) och

frystorkades. De torra proverna brändes i en muffelugn (550 °C) i två timmar och mängden sediment som förbrändes motsvarar mängden organiskt material i sedimenten. Koncentration (torr vikt), sedimentdensitet och fosformassa beräknades.

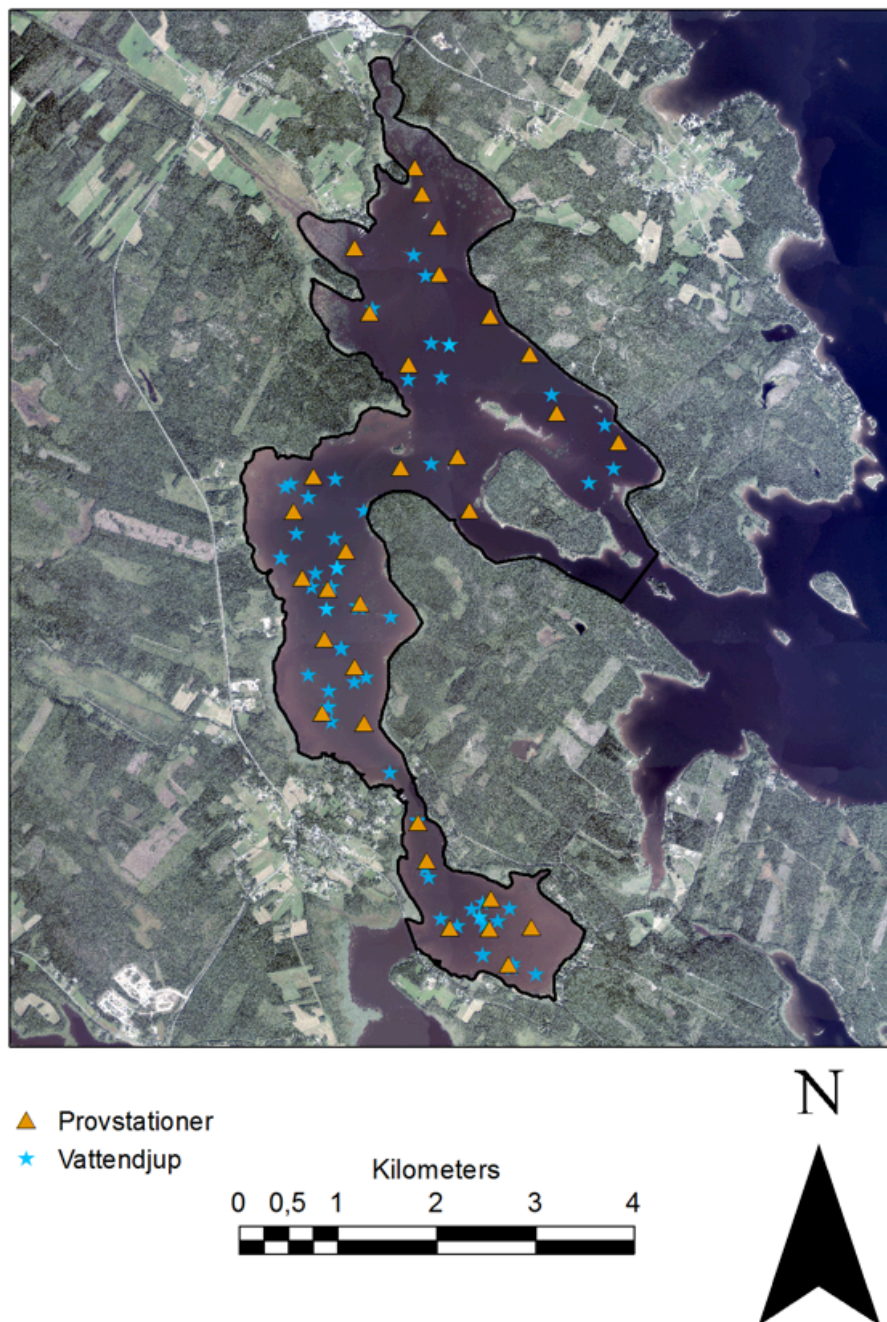
2.4 Modellering

Fosformassan som är den totala läckagebenägna fraktionen, det vill säga summan av mobil fosfor, labil organisk fosfor, och en del av restfraktionen i sedimenten, modellerades med hjälp av ArcGIS (version 10.3).

Läckagebenägen fosfor ökar generellt med ökande vattendjup och därför kan värden där fosfor inte provtogs mellan två eller flera kända punkter interpoleras om man har tillgång till djupkurvor.

Eftersom djupkurvor saknades gjordes en grov djupkarta (se Bilaga A) för att använda för modellering av läckagebenägen fosfor. Rumslig modellering användes med djupmätningar som gjordes i samband med vattenprovtagning och sedimentprovtagning. Det bör poängteras att djupkartan inte kan användas som en officiell karta då många fler punkter behövs för att fånga den rumsliga variationen i vikarna.

Potentiell internbelastning av fosfor uppskattades med hjälp av en empirisk modell (Pilgrim et al. 2007, Huser och Pilgrim 2014) där mobil fosformassa i de översta sedimentlagren används för att beräkna maximal internbelastning.



Figur 1. Provtagningsstationer (triangel) och andra stationer där det fanns mätningar för vattendjup (stjärnor).

3 Resultat

Partiklar sjunker kontinuerligt och bildar sediment på botten av en sjö/vik. Sedimentpartiklarna flyttas från erosions- och transportbottnar till ackumulationsbottnar med hjälp av vind, vågor och resuspension av sediment, orsakat av bottenlevande djur. Ackumulationsbottnar i djupare delar av sjön har generellt de högsta halterna av fosfor, särskilt de mobila formerna. Vid denna provtagning varierade vattenhalten i sedimenten mellan 47% och 86 % i de översta 10 cm sedimentlagren (Tabell 1), vilket indikerar att sedimentpropparna provtogs från områden som erosions, transport- och ackumulationsbottnar. Organiskt material varierade också, från 3,2% till 10,5% i de översta 10 cm sediment (Tabell 1).

Tabell 1. Vattenhalt och organiskt material i vikarna.

Vik	Vattenhalt (%)			Organiskt material (%)		
	Medel	Min	Max	Medel	Min	Max
Bergnäs fjärden	73,4	56,0	85,7	6,2	3,3	8,5
Granöfjärden	68,6	56,3	80,5	5,0	3,2	6,6
Mulövik	66,8	47,3	80,8	6,4	3,7	10,5

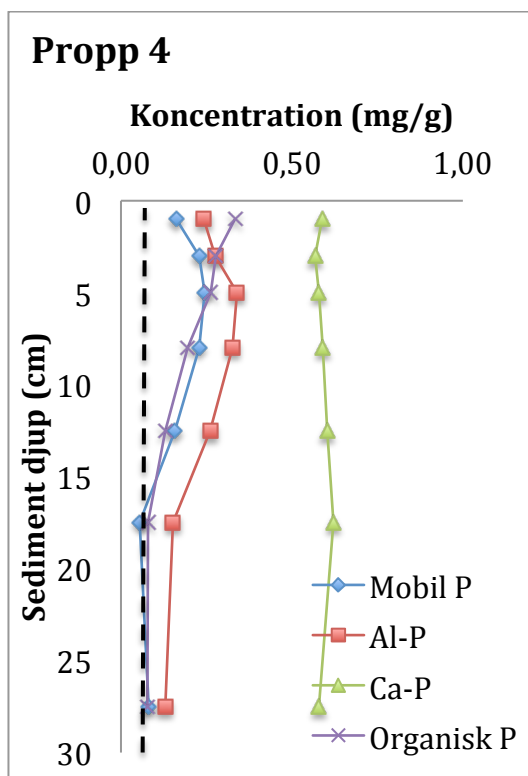
Samtliga analysresultat avseende totalfosforhalter redovisas i Bilaga A. Några prover bedöms som låga till måttlig höga när det gäller totalfosforkoncentrationer. Den högsta koncentrationen finns i Bergnäs fjärden. Totalfosfor driver dock inte internbelastningen, utan det är bara de rörliga fraktionerna av fosfor (mobil och labil organisk fosfor) som bidrar till internbelastning.

3.1 Läckagebenägen fosfor

Löst bunden fosfor/porvatten och järnbunden fosfor frigörs under syrgasfattiga förhållanden. Dessa två fraktioner kallas för mobil fosfor eftersom de bidrar direkt till internbelastning. Genom att analysera löst bunden fosfor/porvatten och järnbunden fosfor i de översta centimetrarna av sedimenten (0-4 cm, Huser and Pilgrim 2014) kan man beräkna den potentiella internbelastningen av fosfor under maximal påverkan (t.ex. vid syrgasbrist och höga temperaturer).

Organisk fosfor återfinns i fraktionen NaOH org-P och kan också frigöras, men endast efter nedbrytning. Koncentrationen av denna form minskar vanligtvis med ökande sedimentdjup vilket indikerar att den frigörs till vattnet det vill säga att den är labil eller läckagebenägen. En rest av dessa fosforfraktioner finns dock kvar även i djupare skikt. I djupare sedimentskikt stabiliseras organisk fosfor kring en lägre halt vilket indikerar att frigörelsen av fosfor har upphört och att enbart inerta fosforformer finns kvar (Figur 2). Denna stabilisering sker oftast vid ett sedimentdjup på mellan 4 och 10 cm, men kan också ske vid större djup när bottenlevande

fisk (t.ex. karpfiskar) finns i stora mängder (Huser et al. 2016b). Djupet där mobil fosfor stabiliseras anses vara det ”aktiva” sedimentdjupet, det vill säga den delen av sedimentet som interagerar med vattenmassan och som används för att beräkna mängden fosfor i aktiva djupet (enheten g/m²). Mängden fosfor som finns i det aktiva djupet summeras för att beräkna massan som måste behandlas eller tas bort för att minska internbelastningen.



Figur 2. Koncentration av mobil och organisk fosfor (mg/g) i propp 4 från Bergnäs fjärden. Bakgrundskoncentration för mobil och organisk fosfor visas med streckad linje.

Oftast är det de djupare och syrefattiga delarna av sjön som anses bidra mest till internbelastningen, men sediment i grundare delar är också viktiga på grund av tre anledningar.

För det första sedimenterar mycket fosfor över hela botten i övergödda sjöar. Nytt material som sedimenterar på erosions- och transportbottnar når eventuellt djupare delar av sjön (ackumulationsbottnar) där fosfor frigörs till vattnet. Om man bara behandlar de djupare delarna av en sjö som ofta är syrgasfattiga, lämnar man mycket fosfor obehandlat på grundare transportbottnar. I vissa fall (sjöar med branta bottnar) är detta inte ett problem eftersom transporten till djupare delar sker mycket snabbt. I sjöar med stor areal av grunda, relativa platta bottnar kan däremot mycket fosfor lagras och sedan långsamt transporteras till djupare delar.

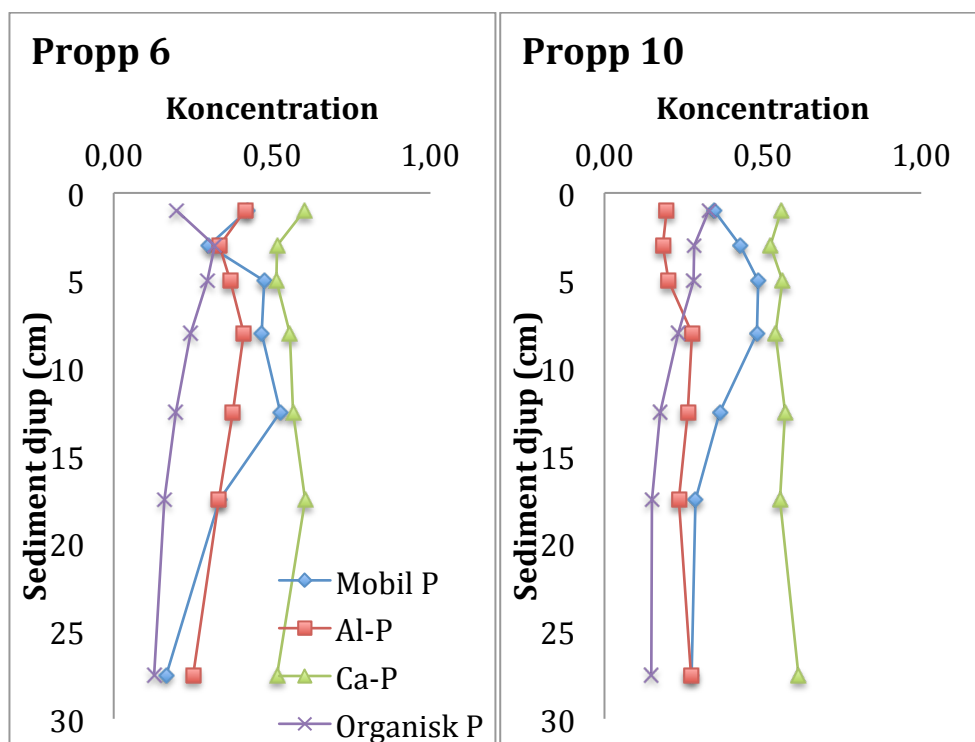
För det andra kan syrgasfattiga förhållanden också förekomma i grundare delar av sjöar, särskilt under natten när vindhastigheten är lägre och

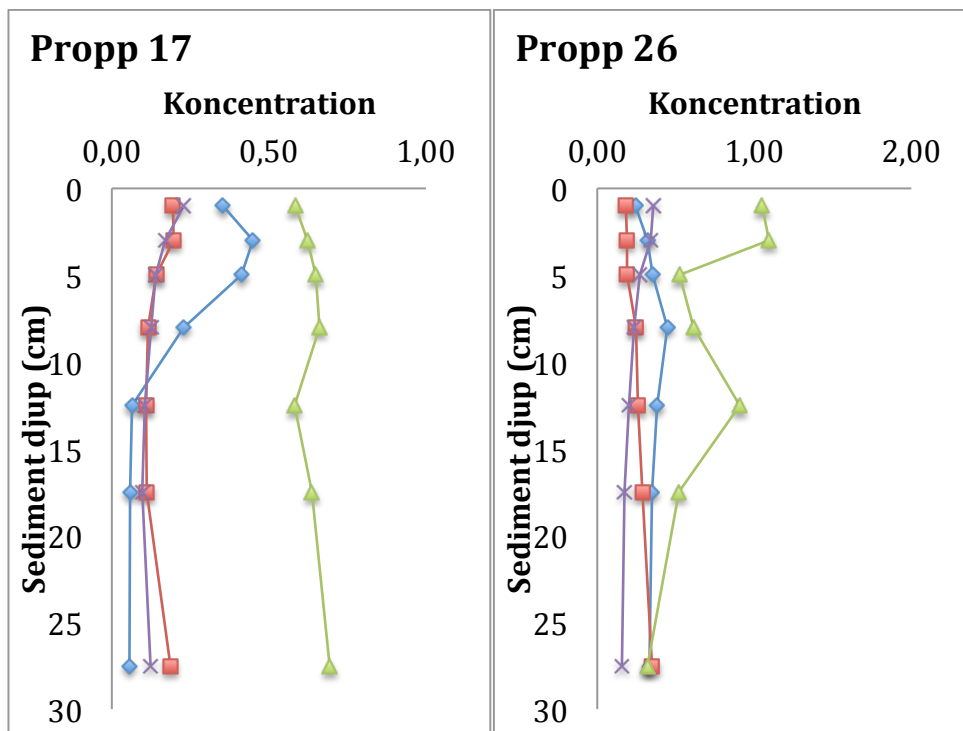
produktionen av syrgas i vattnet minskar. Detta sker ganska fort och medför att fosfor frigörs till vattenmassan och omedelbart blir tillgängligt för till exempel alger under dagen när vattnet omblandas. Följaktligen kan det också vara viktigt att behandla läckagebenägen fosfor som finns i grunda sjöars sediment eller i grundare delar av djupa sjöar.

För det tredje kan organiskt material också släppa fosfor efter nedbrytning, och processen ökar när temperaturen stiger. I övergödda, grunda sjöar finns det oftast mer organisk fosfor jämfört med mobil fosfor på grund av ökad tillväxt av alger och makrofytter. Det tyder på att det inte bara är sediment som exponeras för syrefattiga förhållanden som kan släppa fosfor, utan att även organiskt rikt sediment kan göra det oavsett syrgasförhållanden.

3.1.1 Läckagebenägen fosfor i samtliga vikar

De högsta koncentrationerna av läckage benägen fosfor (mobil och organisk fosfor) återfanns generellt i de djupaste delarna av vikarna (> 2-2,5m vattendjup), till exempel där propparna 6 och 10 (Bergnäs fjärden), 17 (Granöfjärden) och 26 (Mulövikén) togs (se Figur 3).





Figur 3. Koncentrationer av fosforformer i sediment i propparna 6, 10, 17, och 26.

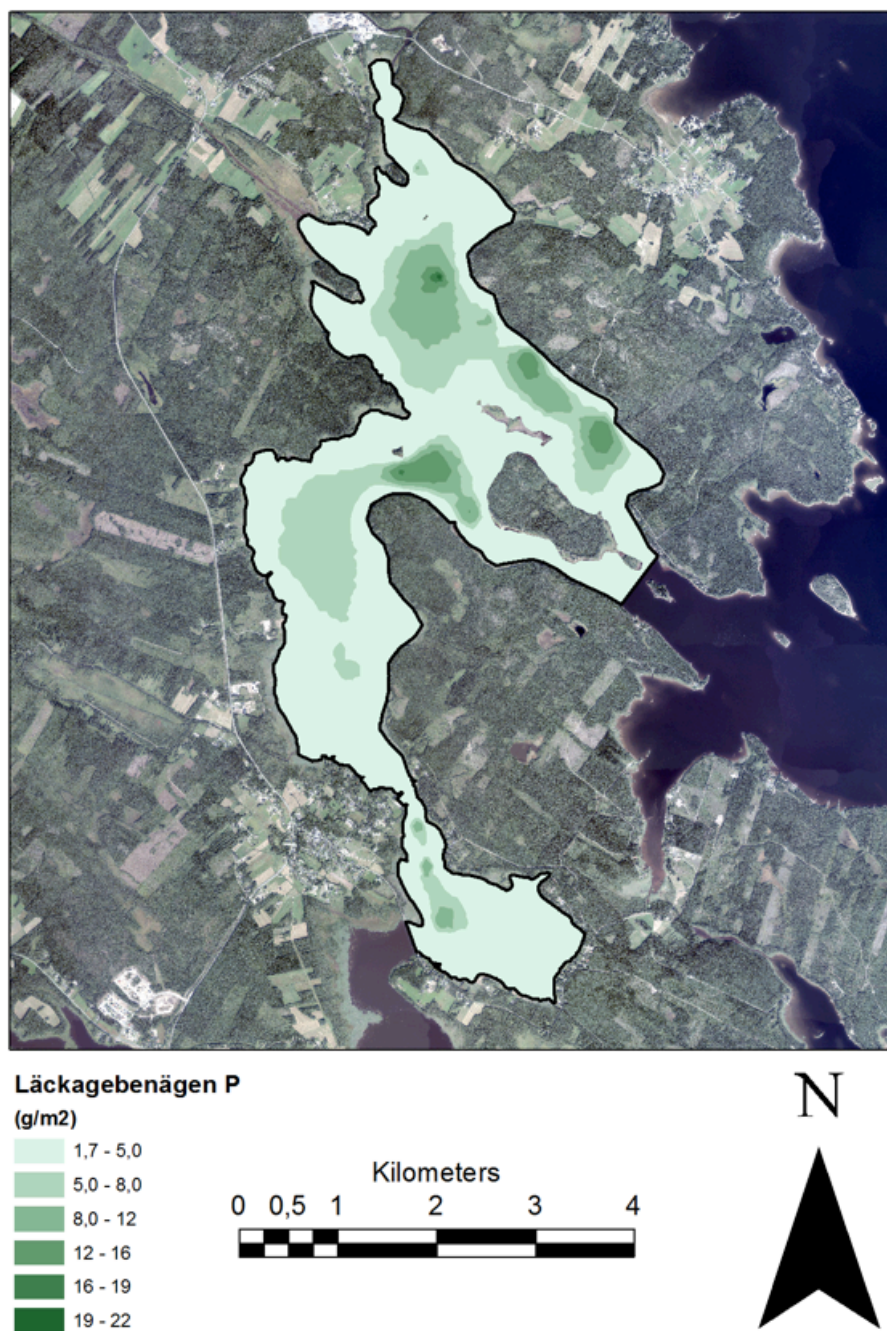
Fosformassan (den totala massan av läckagebenägna former av fosfor) i det aktiva sedimentdjupet var högst i de djupare delarna av vikarna (Tabell 2 och Figur 4) men medelvärdena för varje vik var ganska lika (Tabell 3).

Tabell 2. Massan av läckagebenägen fosfor och potentiell internbelastning (Li) vid de djupaste provtagningsstationerna.

	Propp	Vatten djup (m)	Mobil P	Labil Organisk P (g/m2)	Rest P	Summa	Li (mg/m2/d)
Bergnäs fjärden	6	4	17,9	3,7	0,0	21,5	8,9
Bergnäs fjärden	10	4,9	16,2	2,7	0,0	19,0	9,9
Bergnäs fjärden	14	5,1	15,4	2,5	0,0	17,9	12,9
Bergnäs fjärden	18	3,9	7,2	4,9	0,8	12,9	3,7
Granöfjärden	20	2	13,8	2,9	0,0	16,7	13,7
Mulövik	26	3,1	18,3	3,9	0,0	22,3	9,2

Tabell 3. Medelvärden för massa av läckagebenägen fosfor och medel, min, och max internbelastning (Li) av fosfor i samtliga vikar.

	Mobil P	Labil Organisk P (g/m2)	Rest P	Summa	Li (g/m2/d)		
					Medel	Min	Max
Bergnäs fjärden	6,7	2,4	0,7	9,8	6,9	2,5	12,9
Granöfjärden	6,9	2,0	1,2	10,0	10,9	3,6	14,3
Mulövik	5,7	2,4	1,9	9,9	5,2	1,5	11,1



Figur 4. Läckagebenägen fosfor i sediment från Bergnäs, Granö, och Mulöfjärden.

Jämfört med andra övergödda sjöar i Sverige som har behandlats med aluminium, har samtliga vikar lika mängder läckagebenägen fosfor i vissa delar. T.ex. hade Växjösjön och Södra Bergundasjön mellan 7,7 och 16,2 g/m² respektive 9,9 och 25,3 g/m² läckagebenägen fosfor i sedimenten innan behandling med aluminium (Huser och Köhler 2014).

4 Minskning av internbelastning med aluminium

Koncentrationer av fosfor är låga till måttlig i vikarna. Men fosformassan är hög, jämförbart med andra sjöar i Sverige som har problem med internbelastning av fosfor. Sedimentförhållanden i vikarna är annorlunda jämfört med andra undersökta övergödda inlandsjöar dock. Vattenhalt och organiskt material är generellt lägre jämfört med inlandssjöar och det skulle tydliggöras att båda vattenhalt och organiskt material avviker mot sjöarna som använts för att utveckla modellen för uppskattning av potentiell internbelastning av fosfor (Huser och Pilgrim 2014). Proppar från de djupaste delar (>2-2,5 meter vattendjup) har högre halter av vatten, organisk material, och läckagebenägen fosfor dock. Dessa områden är lämpliga att behandla med aluminium och beräkningar av potentiell internbelastning är säkrare i dessa områden.

Innan utformning av en aluminiumbehandling, rekommenderas ytterligare försök på grund av att förhållanden i vikarna inte är jämförbara med inlandssjöar (generellt låg vattenhalt och organiskt material). Det är också svårt att mäta internbelastning i grunda sjöar och kustområden eftersom vattenpelaren omblandas kontinuerligt. Inkubering av sediment skulle kunna användas för att mäta internbelastningshastigheter direkt under olika syrgas förhållanden.

Sjömodellering behöver göras för att bedöma storleken av olika fosforkällor till vikarna. Den potentiella internbelastning kan användas som en maximal gräns, och resultat från inkubering av sediment kan användas som rimliga värden för internbelastning med sjömodellering.

Förbättrade djupkurvor krävs för att fastställa vilka zoner/områden som ska aluminiumbehandlas. Kartan som togs fram begränsas av befintliga data, som troligtvis inte fångar den rumsliga variationen av vattendjup ordentligt.

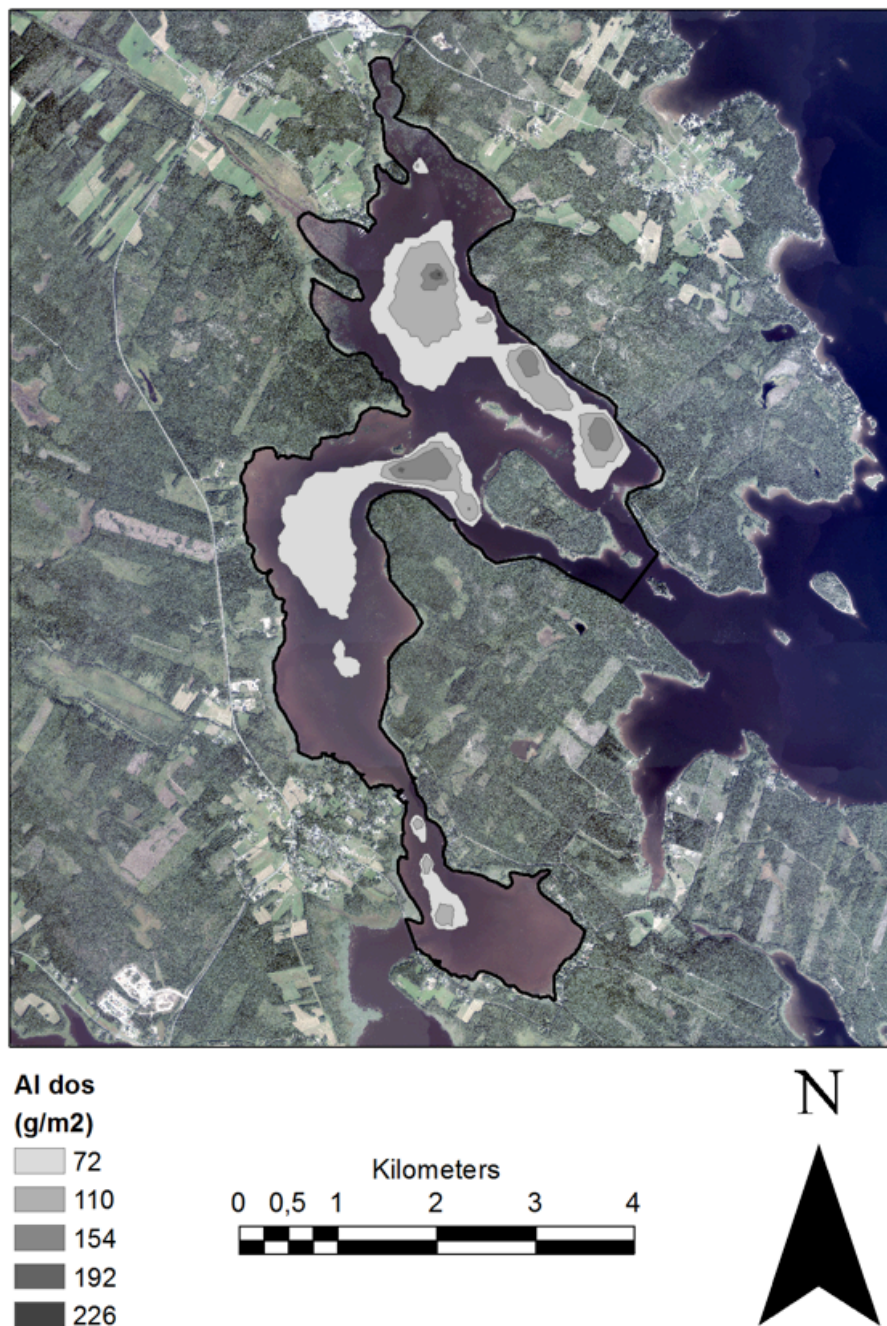
5 Aluminiumdos

Det behövs i snitt 89 g/m² aluminium för att binda läckagebenägen fosfor i Mulövikens, Granöfjärden, och Bergnäsfjärden och minska internbelastningen. Baserat på mängden fosfor i sedimenten börjar behandlingsområdet ungefär vid 2 meters djup. Mängden aluminium som behövs varierar beroende på hur mycket läckagebenägen fosfor som finns i sedimenten (Figur 4). Aktuella behandlingsområden (totalt 377 ha) delas upp i 5 olika zoner (Tabell 4) och visas på doseringskartan (Figur 5).

Den rekommenderade dosen (medelvärde av de 5 doseringszonerna) är jämförbar med beräknade doser för sjöar i Stockholms stad, Växjö kommun, Dalarna, och andra delar av landet (t.ex. Växjösjön och Drevviken).

Tabell 4. Medelvärden av rörlig fosfor, areal, och aluminiumdoser i rekommenderade doseringszoner i Mulövikén, Granöfjärden och Bergnäsfjärden.

Dos zoner	Mobil P (g/m ²)	Aldos (g/m ²)	Areal (ha) (ha)	Al (ton) (ton)
1	6,5	72	245,8	175,8
2	10	110	102,1	112,4
3	14	154	27,8	42,8
4	17,5	193	1,1	2,2
5	20,5	226	0,2	0,3
Medel		88,4		
Summa			377	333



Figur 5. Behandlingszoner för aluminium i Mulöviken, Granöfjärden och Bergnäs-fjärden. Färgerna på kartan representerar olika aluminiumdoser (se Tabell 4) som krävs för att fastlägga läckagebenägen fosfor i sedimenten.

5.1 Utformning av aluminiumbehandling

Aluminiumtillsättning är en väl beprövad metod för att fastlägga fosfor i sedimentet. Efter tillsättning bildar aluminium ett mineral som binder starkt

till fosfor och minskar internbelastningen kraftigt. För att utforma aluminiumbehandling av en vattenförekomst behöver man utöver kunskap om den totala mängden aluminium som ska tillsättas, även veta hur doseringen ska göras i tid.

Tidigare studier har visat skillnader i bindningseffektivitet i sjöar som har behandlats med aluminium under de senaste 50 åren.

Bindningseffektiviteten (kvoten mellan hur mycket aluminium som krävs för att binda en enhet fosfor och inaktivera den) har varierat från 1,9 till 18 (Rydin et al. 2000, Huser et al. 2011, Huser 2012, Jensen et al. 2015, Huser 2017, Schütze et al. 2017, Agstam et al. 2020). Aluminium mineralet börjar kristalliseras efter tillsättning, vilket kan minska bindningseffektiviteten om kristallisering sker innan aluminium har bundits till löslig fosfor. Labil organisk fosfor har tagits med i beräkningarna av aluminiumdos som en del av läckagebenägen fosfor, men det kan vara riskabelt att tillsätta tillräckligt mycket aluminium för att binda denna fraktion samtidigt som man behandlar mobil fosfor. Det beror på att det kan ta längre tid för labil organisk fosfor att brytas ner och bli löslig. Sedimentinjicering av aluminium (d.v.s. harvning) kan till viss del lösa detta problem, men en uppdelning av dosen kan krävas ändå (t.ex. Södra Bergundasjön i Växjö). Ett enkelt sätt att lösa problemet vid vattenbehandling är att dela upp behandlingarna under ett antal år.

Bindningen mellan aluminium och fosfor påverkas av flera andra faktorer, varav organiskt material (löst organiskt kol, eller DOC) i vattnet är en av de viktigaste. Organiskt material förhindrar bindningen mellan aluminium och fosfor något eftersom den också kan bindas av aluminium. Därmed kan bindningseffektiviteten i humösa sjöar vara lägre. Detta har föreslagits som en anledning till att bindningseffektiviteten var mindre i Långsjön (mer humös) jämfört med Flaten (Schütze et al. 2017) i Stockholm. Aluminiumdoser behöver därför justeras med hänsyn till DOC/TOC i vikarna.

Tillsättning av aluminium kan ändra pH i vattnet och därför skulle geokemisk modellering inkluderas i utformning av en aluminiumbehandling. Med sådan information kan aluminium doser justeras för att undvika pH ändringar och säkerställa en säker och hållbar behandling.

6 Rekommendationer

För att kunna säkerställa att eventuella åtgärder för minskning av internbelastning får önskad effekt och leder till minskad övergödning krävs det ytterligare information.

- Inkubering av sediment proppar för att mäta internbelastning av fosfor momentant.
- Sjömodellering för att beräkna källfördelning. Resultat från denna rapport (potentiell/maximal internbelastning) och inkubering (uppmätt internbelastning) kan användas med den delen av sjömodellering som handlar om internbelastning.

För att utforma en eventuell aluminiumbehandling krävs det ytterligare information.

- Djupkurvor för att fastställa områden som ska behandlas.
- Analys av aluminiumdoser för att beräkna uppdelning som skulle ge bästa bindningseffektiviteten.
- Geokemisk modellering av uppdelning för att säkerställa en säker och hållbar behandling.

7 Referenser

- Agstam O., et al. 2020. Aluminum treatment to control internal phosphorus loading and restore eutrophic lakes: factors affecting binding efficiency of aluminum. *Water Research*.
- de Vicente I, Jensen HS, Andersen FO. 2008a. Factors affecting phosphate adsorption to aluminum in lake water: implications for lake restoration. *Sci Total Environ*. 389:29–36.
- de Vicente, I., P. Huang, F. O. Andersen, and H. S. Jensen. 2008b. Phosphate adsorption by fresh and aged aluminum hydroxide. Consequences for lake restoration. *Environmental Science & Technology* 42:6650-6655.
- Cooke GD, Welch EB, Peterson SA, Nichols SA. 2005. Restoration and management of Lakes and Reservoirs. Boca Raton: CRC Press.
- Hupfer M, Gachter R, Giovanoli R. 1995. Transformation of phosphorus species in settling seston and during early sediment diagenesis. *Aquat Sci*. 57(4):305-324.
- Huser BJ, Brezonik P, Newman R. 2011. Effects of alum treatment on water quality and sediment in the Minneapolis Chain of Lakes, Minnesota, USA. *Lake Reserv Manage*. 27(3):220-228.
- Huser, B.J. and Köhler, S. 2014. Granskning av åtgärdsförslag för att minska internbelastningen av fosfor i Växjösjöarna. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för vatten och miljö. Rapport 2014:7.
- Huser BJ, Pilgrim KM. 2014. A simple model for predicting aluminum bound phosphorus formation and internal loading reduction in lakes after aluminum addition to lake sediment. *Water Res*. 53(0):378-385.
- Huser BJ, Egemose S, Harper H, Hupfer M, Jensen H, Pilgrim KM, Reitzel K, Rydin E, Futter M. 2016a. Longevity and effectiveness of aluminum addition to reduce sediment phosphorus release and restore lake water quality. *Water Res*. 97:122-132.
- Huser B.J., Bajer P.G., Chizinski C.J., Sorensen P.W. 2016b. Effects of common carp (*Cyprinus carpio*) on sediment mixing depth and mobile phosphorus mass in the active sediment layer of a shallow lake. *Hydrobiologia*. 763(1):23-33.
- Huser, B. J. 2017. Aluminum application to restore water quality in eutrophic lakes: maximizing binding efficiency between aluminum and phosphorus. *Lake and reservoir management*, 33(2), 143-151.
- Huser, B.J. et al. 2020. Analysis of an innovative method for aluminum treatment to reduce eutrophication in lakes: sediment injection effects on phosphorus, metals, and toxic organic compounds in a shallow lake in Sweden. In prep.
- Håkanson L, Jansson M. 1983. Principals of lake sedimentology. Berlin: Springer-Verlag.
- Jensen H, Reitzel K, Egemose S. 2015. Evaluation of aluminum treatment efficiency on water quality and internal phosphorus cycling in six Danish lakes. *Hydrobiologia*. 751:189–199.

- Pilgrim KM, Huser BJ, Brezonik PL. 2007. A method for comparative evaluation of whole-lake and inflow alum treatment. *Water Res.* 41(6):1215-1224.
- Psenner R, Boström B, Dinka M, Pettersson K, Puckso R, Sager M. 1988. Fractionation of phosphorus in suspended matter and sediment. *Archiv Fur Hydrobiologie Supplement.* 30:98-103.
- Rydin E, Huser B, Welch EB. 2000. Amount of phosphorus inactivated by alum treatments in Washington lakes. *Limnol Oceanogr.* 45(1):226-230.
- Schütz, J., E. Rydin, and B.J. Huser 2017. A newly developed injection method for aluminum treatment in eutrophic lakes: Effects on water quality and phosphorus binding efficiency. *Lake and Reservoir Management* 33(2), 152-162.

Bilaga A

Tabell 1. Provstationer och koordinater

Vik	Propp	N	E	Vattendjup (m)
Bergnärfjärden	1	7305517	833708	1,6
Bergnärfjärden	2	7305517	833708	1,4
Bergnärfjärden	3	7304971	833025	1,5
Bergnärfjärden	4	7305786	833637	2,6
Bergnärfjärden	5	7305186	833875	2,1
Bergnärfjärden	6	7304710	833883	4
Bergnärfjärden	7	7304314	833174	1,8
Bergnärfjärden	8	7304282	834396	2,9
Bergnärfjärden	9	7303795	833569	2,3
Bergnärfjärden	10	7303897	834797	4,9
Bergnärfjärden	11	7303009	835695	3,1
Bergnärfjärden	12	7303306	835074	2,2
Bergnärfjärden	13	7302861	834066	1,8
Bergnärfjärden	14	7302753	833488	5,1
Granöfjärden	15	7302665	832607	1,9
Granöfjärden	16	7302308	832403	2
Granöfjärden	17	7301908	832933	2,1
Bergnärfjärden	18	7302317	834187	3,9
Granöfjärden	19	7301637	832497	1,7
Granöfjärden	20	7301521	832755	2
Granöfjärden	21	7301374	833083	1,6
Granöfjärden	22	7301020	832716	1,7
Granöfjärden	23	7300732	833027	1,8
Granöfjärden	24	7300270	832699	1,4
Granöfjärden	25	7300163	833118	1,2
Mulövikén	26	7299163	833664	3,1
Mulövikén	27	7298774	833758	1,9
Mulövikén	28	7298097	833984	1,1
Mulövikén	29	7298388	834404	1
Mulövikén	30	7298084	834391	0,8
Mulövikén	31	7298101	834818	0,7
Mulövikén	32	7297722	834578	0,6

Tabell 2. Vattenhalt (H₂O), procent organiskt material (OM), och aktiva djupet av sediment propparna.

ProvID	Vatten djup	Prov intervall	Vattenhalt	Organiskt material	Aktivt djup
--------	----------------	-------------------	------------	-----------------------	----------------

	(m)	(cm)	(%)	(%)	(cm)
1	1,60	0-2	71,5	5,7	4
1		2-4	69,1	5,5	
1		4-6	70,6	5,6	
1		6-10	70,2	8,3	
1		10-15	68,5	4,9	
1		15-20	62,3	3,8	
1		25-30	64,1	7,7	
2	1,40	0-2	56,0	3,3	4
2		2-4	58,2	3,9	
2		4-6	62,9	4,6	
2		6-10	67,1	5,6	
2		10-15	67,6	5,7	
2		15-20	67,0	5,0	
2		25-28	67,5	5,6	
3	1,50	0-2	59,5	5,4	4
3		2-4	59,4	5,1	
3		4-6	61,9	5,5	
3		6-10	61,1	5,1	
3		10-15	62,9	5,4	
3		15-20	59,5	4,8	
3		25-28	63,9	5,1	
4	2,60	0-2	82,0	7,2	15
4		2-4	77,4	6,6	
4		4-6	78,7	7,4	
4		6-10	76,8	6,7	
4		10-15	74,6	5,7	
4		15-20	68,0	4,4	
4		25-30	64,5	4,4	
5	2,10	0-2	71,6	4,7	10
5		2-4	69,1	4,7	
5		4-6	64,7	4,2	
5		6-10	70,1	4,9	
5		10-15	72,3	6,0	
5		15-20	76,3	6,0	
5		25-30	67,6	4,0	
6	4,00	0-2	84,0	7,2	20
6		2-4	83,9	8,5	
6		4-6	81,3	8,1	
6		6-10	81,6	7,4	
6		10-15	80,4	7,0	
6		15-20	80,3	6,8	
6		25-30	74,2	5,9	

7	1,80	0-2	66,6	4,4	10
7		2-4	65,4	3,8	
7		4-6	67,8	3,6	
7		6-10	67,7	3,7	
7		10-15	68,9	2,7	
7		15-20	69,6	4,4	
7		25-30	71,0	4,8	
8	2,90	0-2	85,1	8,5	20
8		2-4	80,3	7,9	
8		4-6	81,6	8,2	
8		6-10	80,7	7,2	
8		10-15	80,5	7,5	
8		15-20	79,5	6,6	
8		25-30	73,8	5,3	
9	2,30	0-2	76,2	5,6	6
9		2-4	72,7	5,2	
9		4-6	65,9	4,6	
9		6-10	61,5	4,2	
9		10-15	62,4	4,1	
9		15-20	65,3	4,1	
9		25-30	66,6	4,6	
10	4,90	0-2	85,7	8,1	15
10		2-4	81,8	7,9	
10		4-6	80,7	7,6	
10		6-10	81,2	8,0	
10		10-15	80,6	7,4	
10		15-20	79,7	7,1	
10		25-30	79,1	6,8	
11	3,10	0-2	80,2	6,9	6
11		2-4	77,0	6,8	
11		4-6	75,7	6,6	
11		6-10	75,9	6,7	
11		10-15	74,4	5,9	
11		15-20	72,8	5,8	
11		25-30	71,6	5,4	
12	2,20	0-2	77,3	5,7	4
12		2-4	72,0	5,3	
12		4-6	72,3	5,4	
12		6-10	71,1	5,3	
12		10-15	69,7	4,9	
12		15-20	68,6	4,4	
12		25-29	68,6	4,3	
13	1,80	0-2	73,2	6,7	10
13		2-4	72,5	6,2	

13		4-6	73,7	7,3	
13		6-10	72,0	7,5	
13		10-15	72,0	6,8	
13		15-20	70,3	6,5	
13		25-29	70,6	2,9	
14	5,10	0-2	83,2	8,1	15
14		2-4	79,3	7,3	
14		4-6	78,2	7,3	
14		6-10	77,4	7,5	
14		10-15	77,8	7,1	
14		15-20	77,0	6,9	
14		25-30	74,9	6,4	
15	1,90	0-2	74,7	5,3	6
15		2-4	66,7	4,7	
15		4-6	67,2	4,4	
15		6-10	68,2	4,3	
15		10-15	69,4	3,8	
15		15-20	66,8	5,1	
15		25-28	66,2	5,1	
16	2,00	0-2	71,2	5,4	10
16		2-4	69,1	5,1	
16		4-6	67,6	5,2	
16		6-10	65,7	4,9	
16		10-15	66,4	5,6	
16		15-20	64,3	5,1	
17	2,10	0-2	80,5	6,4	10
17		2-4	76,9	6,0	
17		4-6	75,5	5,8	
17		6-10	71,0	5,0	
17		10-15	62,5	5,1	
17		15-20	65,8	5,3	
17		25-30	67,8	4,9	
18	3,90	0-2	80,7	7,2	10
18		2-4	76,4	6,5	
18		4-6	74,3	6,0	
18		6-10	74,5	3,7	
18		10-15	76,2	6,6	
18		15-20	77,6	7,1	
18		25-30	73,9	6,1	
19	1,70	0-2	70,8	5,1	6
19		2-4	67,3	4,5	
19		4-6	63,4	5,1	
19		6-10	62,9	4,2	
19		10-15	63,7	4,3	

19		15-20	62,5	3,9	
20	2,00	0-2	77,9	5,9	15
20		2-4	75,7	6,1	
20		4-6	74,6	5,9	
20		6-10	71,2	5,3	
20		10-15	68,5	4,9	
20		15-20	65,5	5,7	
20		25-30	62,0	8,3	
21	1,60	0-2	73,4	4,8	4
21		2-4	65,0	5,1	
21		4-6	68,5	5,4	
21		6-10	71,0	6,6	
21		10-15	68,4	6,4	
21		15-20	69,5	6,6	
22	1,70	0-2	71,6	4,8	10
22		2-4	67,2	4,5	
22		4-6	66,8	4,2	
22		6-10	60,2	4,5	
22		10-15	56,3	5,8	
22		15-20	55,4	5,7	
22		25-30	57,8	6,1	
23	1,80	0-2	76,6	5,6	6
23		2-4	72,5	5,7	
23		4-6	69,8	5,2	
23		6-10	67,6	4,8	
23		10-15	64,9	4,3	
23		15-20	64,5	4,6	
23		25-30	66,9	4,5	
24	1,40	0-2	59,1	3,2	6
24		2-4	61,0	4,2	
24		4-6	64,9	4,9	
24		6-10	66,3	5,5	
24		10-15	67,7	6,0	
24		15-20	68,0	6,5	
24		25-27	69,2	6,4	
25	1,20	0-2	67,5	4,2	15
25		2-4	56,3	3,5	
25		4-6	57,2	4,8	
25		6-10	63,0	4,8	
25		10-15	60,8	4,9	
25		15-20	59,1	6,0	
25		25-27	60,7	4,0	
26	3,10	0-2	80,8	10,5	20
26		2-4	78,6	8,3	

26		4-6	78,4	9,7	
26		6-10	78,0	7,6	
26		10-15	78,0	7,4	
26		15-20	76,7	7,3	
26		25-30	78,3	7,2	
27	1,90	0-2	79,8	8,0	20
27		2-4	76,6	7,7	
27		4-6	77,5	7,1	
27		6-10	75,9	6,2	
27		10-15	72,4	5,9	
27		15-20	73,2	6,4	
27		25-30	76,4	6,6	
28	1,10	0-2	70,3	5,4	10
28		2-4	64,0	4,9	
28		4-6	63,0	5,0	
28		6-10	56,6	3,7	
28		10-15	53,2	2,9	
28		15-20	56,1	3,6	
28		25-28	61,2	4,0	
29	1,00	0-2	79,1	8,3	15
29		2-4	74,7	8,2	
29		4-6	73,1	8,2	
29		6-10	74,2	8,1	
29		10-15	72,2	7,6	
29		15-20	70,2	7,1	
30	0,80	0-2	67,4	4,3	4
30		2-4	51,4	3,9	
30		4-6	47,3	4,6	
30		6-10	55,7	7,1	
30		10-15	62,1	7,4	
31	0,70	0-2	65,4	6,8	4
31		2-4	56,3	4,7	
31		4-6	56,2	4,8	
31		6-10	57,9	4,8	
31		10-15	60,7	4,9	
31		15-20	65,4	5,0	
32	0,60	0-2	53,1	4,6	4
32		2-4	54,2	6,0	
32		4-6	60,9	5,7	
32		6-10	63,9	5,4	
32		10-15	63,9	6,7	
32		15-19	68,8	5,5	

Tabell 3. Koncentrationer av fosfor former samt total fosfor (TP) i sediment från vikarna.

Prov ID	Prov intervall	Mobil P	Al-P	Ca-P	Org-P	TP	Rest P
	(cm)	(mg/g)					
1	0-2	0,05	0,12	0,62	0,27	1,2	0,14
1	2-4	0,09	0,15	0,65	0,23	1,2	0,08
1	4-6	0,10	0,20	0,65	0,21	1,2	0,04
1	6-10	0,12	0,27	0,65	0,15	1,2	0,01
1	10-15	0,10	0,25	0,66	0,14	1,1	0,00
1	15-20	0,07	0,19	0,69	0,09	1	0,00
1	25-30	0,03	0,06	0,63	0,08	0,89	0,08
2	0-2	0,03	0,08	0,57	0,14	0,93	0,12
2	2-4	0,06	0,12	0,61	0,14	0,98	0,05
2	4-6	0,05	0,13	0,57	0,12	1	0,13
2	6-10	0,07	0,27	0,63	0,16	1,1	0,00
2	10-15	0,08	0,31	0,60	0,14	1,2	0,07
2	15-20	0,08	0,22	0,67	0,12	1,1	0,01
2	25-28	0,08	0,30	0,67	0,11	1,1	0,00
3	0-2	0,03	0,16	0,50	0,10	0,93	0,13
3	2-4	0,05	0,19	0,58	0,10	0,94	0,03
3	4-6	0,09	0,20	0,61	0,15	1	0,00
3	6-10	0,06	0,24	0,62	0,13	0,99	0,00
3	10-15	0,05	0,22	0,59	0,09	0,99	0,04
3	15-20	0,04	0,15	0,56	0,07	0,92	0,09
3	25-28	0,05	0,20	0,59	0,06	0,86	0,00
4	0-2	0,16	0,24	0,59	0,33	1,3	0,00
4	2-4	0,23	0,28	0,57	0,28	1,3	0,00
4	4-6	0,24	0,34	0,58	0,26	1,4	0,00
4	6-10	0,23	0,33	0,59	0,19	1,3	0,00
4	10-15	0,16	0,26	0,60	0,13	1,1	0,00
4	15-20	0,06	0,15	0,62	0,08	0,97	0,06
4	25-30	0,08	0,13	0,58	0,08	0,96	0,10
5	0-2	0,08	0,16	0,62	0,21	1,2	0,13
5	2-4	0,12	0,18	0,61	0,17	1,2	0,12
5	4-6	0,11	0,17	0,66	0,12	1,1	0,04
5	6-10	0,11	0,15	0,63	0,09	0,99	0,01
5	10-15	0,09	0,13	0,57	0,08	0,93	0,06
5	15-20	0,11	0,14	0,59	0,12	0,99	0,04
5	25-30	0,16	0,14	0,65	0,15	1,1	0,01
6	0-2	0,42	0,42	0,60	0,20	1,6	0,00
6	2-4	0,30	0,33	0,52	0,32	1,5	0,03
6	4-6	0,47	0,37	0,51	0,30	1,6	0,00

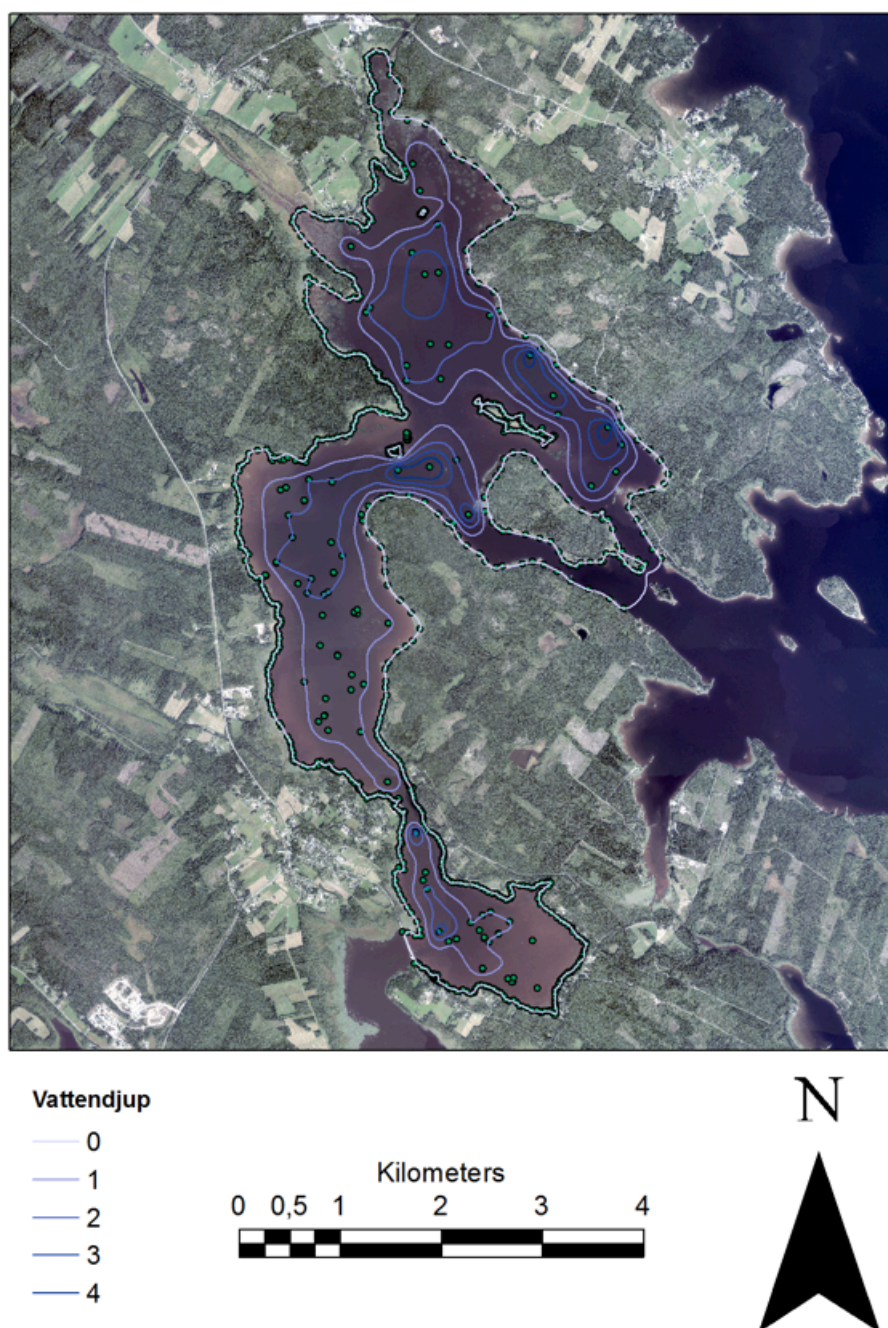
6	6-10	0,47	0,41	0,56	0,24	1,6	0,00
6	10-15	0,53	0,38	0,57	0,20	1,5	0,00
6	15-20	0,33	0,33	0,60	0,16	1,3	0,00
6	25-30	0,17	0,25	0,52	0,13	1,2	0,14
7	0-2	0,07	0,14	0,57	0,19	0,99	0,02
7	2-4	0,05	0,09	0,57	0,10	0,92	0,10
7	4-6	0,04	0,08	0,59	0,11	0,84	0,01
7	6-10	0,03	0,09	0,59	0,11	0,83	0,01
7	10-15	0,04	0,09	0,56	0,12	0,86	0,06
7	15-20	0,04	0,10	0,61	0,13	0,89	0,01
7	25-30	0,11	0,18	0,51	0,14	1,1	0,16
8	0-2	0,25	0,24	0,58	0,42	1,4	0,00
8	2-4	0,41	0,24	0,58	0,28	1,6	0,09
8	4-6	0,62	0,35	0,59	0,29	1,7	0,00
8	6-10	0,38	0,31	0,59	0,23	1,4	0,00
8	10-15	0,31	0,30	0,57	0,16	1,3	0,00
8	15-20	0,23	0,28	0,61	0,18	1,2	0,00
8	25-30	0,12	0,23	0,64	0,11	1,1	0,00
9	0-2	0,13	0,18	0,62	0,25	1,1	0,00
9	2-4	0,14	0,17	0,62	0,20	1,1	0,00
9	4-6	0,10	0,11	0,63	0,13	1	0,04
9	6-10	0,05	0,06	0,64	0,11	0,86	0,00
9	10-15	0,04	0,07	0,67	0,11	0,88	0,00
9	15-20	0,05	0,10	0,60	0,12	0,9	0,04
9	25-30	0,08	0,14	0,63	0,12	0,99	0,01
10	0-2	0,35	0,20	0,56	0,33	1,4	0,00
10	2-4	0,43	0,19	0,52	0,28	1,4	0,00
10	4-6	0,49	0,20	0,56	0,28	1,5	0,00
10	6-10	0,48	0,28	0,54	0,23	1,5	0,00
10	10-15	0,36	0,26	0,57	0,18	1,3	0,00
10	15-20	0,29	0,23	0,55	0,15	1,2	0,00
10	25-30	0,28	0,27	0,61	0,15	1,2	0,00
11	0-2	0,27	0,22	0,64	0,31	1,2	0,00
11	2-4	0,28	0,18	0,55	0,25	1,2	0,00
11	4-6	0,29	0,20	0,51	0,23	1,3	0,07
11	6-10	0,30	0,28	0,52	0,21	1,3	0,00
11	10-15	0,23	0,25	0,57	0,17	1,2	0,00
11	15-20	0,20	0,19	0,61	0,15	1,1	0,00
11	25-30	0,12	0,18	0,60	0,13	1	0,00
12	0-2	0,19	0,27	0,59	0,25	1,2	0,00
12	2-4	0,29	0,26	0,56	0,19	1,3	0,00
12	4-6	0,29	0,27	0,53	0,17	1,3	0,04
12	6-10	0,35	0,27	0,62	0,17	1,3	0,00
12	10-15	0,40	0,19	0,67	0,27	1,1	0,00

12	15-20	0,32	0,16	0,70	0,13	1	0,00
12	25-29	0,23	0,23	0,69	0,14	1,1	0,00
13	0-2	0,28	0,58	0,44	0,09	1,8	0,41
13	2-4	0,20	0,37	0,55	0,12	1,6	0,35
13	4-6	0,11	0,48	0,67	0,19	1,9	0,45
13	6-10	0,19	0,92	0,76	0,07	2,1	0,16
13	10-15	0,09	0,35	0,82	0,38	1,6	0,00
13	15-20	0,03	0,36	0,78	0,36	1,7	0,17
13	25-29	0,04	0,41	0,66	0,12	1,5	0,27
14	0-2	0,42	0,18	0,59	0,26	1,5	0,06
14	2-4	0,44	0,16	0,61	0,24	1,3	0,00
14	4-6	0,49	0,18	0,59	0,21	1,4	0,00
14	6-10	0,43	0,24	0,55	0,16	1,4	0,01
14	10-15	0,38	0,19	0,58	0,10	1,3	0,05
14	15-20	0,20	0,19	0,55	0,12	1,2	0,13
14	25-30	0,17	0,21	0,54	0,12	1,3	0,26
15	0-2	0,21	0,17	0,63	0,21	1,1	0,00
15	2-4	0,12	0,14	0,62	0,14	1	0,00
15	4-6	0,06	0,09	0,60	0,14	1	0,11
15	6-10	0,11	0,10	0,61	0,12	0,91	0,00
15	10-15	0,25	0,12	0,64	0,12	0,91	0,00
15	15-20	0,15	0,10	0,61	0,13	0,94	0,00
15	25-28	0,16	0,12	0,65	0,09	0,97	0,00
16	0-2	0,33	0,17	0,59	0,22	1,1	0,00
16	2-4	0,23	0,13	0,59	0,17	1,1	0,00
16	4-6	0,13	0,11	0,61	0,16	1	0,00
16	6-10	0,05	0,10	0,65	0,19	0,97	0,00
16	10-15	0,02	0,24	0,62	0,31	1,4	0,20
16	15-20	0,03	0,11	0,67	0,14	0,97	0,03
17	0-2	0,35	0,20	0,58	0,23	1,3	0,00
17	2-4	0,45	0,20	0,62	0,17	1,2	0,00
17	4-6	0,41	0,14	0,65	0,14	1	0,00
17	6-10	0,23	0,11	0,66	0,13	1	0,00
17	10-15	0,06	0,11	0,58	0,11	0,94	0,08
17	15-20	0,06	0,11	0,64	0,10	0,9	0,00
17	25-30	0,06	0,19	0,69	0,12	1,1	0,04
18	0-2	0,15	0,14	0,59	0,27	1,2	0,05
18	2-4	0,09	0,13	0,60	0,19	1,2	0,20
18	4-6	0,18	0,14	0,60	0,10	1,1	0,08
18	6-10	0,15	0,17	0,62	0,16	1,2	0,10
18	10-15	0,10	0,19	0,57	0,14	1,2	0,20
18	15-20	0,14	0,19	0,63	0,15	1	0,00
18	25-30	0,20	0,27	0,61	0,07	1,3	0,16
19	0-2	0,16	0,20	0,87	0,25	1,1	0,00

19	2-4	0,32	0,09	0,67	0,12	1	0,00
19	4-6	0,24	0,08	0,69	0,12	0,94	0,00
19	6-10	0,18	0,08	0,60	0,10	0,92	0,00
19	10-15	0,37	0,08	0,69	0,12	0,97	0,00
19	15-20	0,20	0,08	0,69	0,09	0,96	0,00
20	0-2	0,30	0,22	0,67	0,29	1,3	0,00
20	2-4	0,41	0,20	0,65	0,21	1,3	0,00
20	4-6	0,34	0,20	0,59	0,11	1,3	0,06
20	6-10	0,30	0,18	0,61	0,11	1,2	0,00
20	10-15	0,20	0,16	0,66	0,11	1,1	0,00
20	15-20	0,16	0,13	0,67	0,09	1	0,00
20	25-30	0,15	0,12	0,54	0,08	0,96	0,07
21	0-2	0,13	0,18	0,64	0,14	1,1	0,01
21	2-4	0,14	0,13	0,66	0,14	1	0,00
21	4-6	0,10	0,10	0,61	0,13	0,93	0,00
21	6-10	0,09	0,38	0,65	0,09	1,4	0,19
21	10-15	0,04	0,48	0,71	0,08	1,6	0,29
21	15-20	0,09	0,39	0,64	0,06	1,5	0,32
22	0-2	0,05	0,16	0,63	0,21	1,1	0,05
22	2-4	0,09	0,13	0,66	0,13	1,1	0,09
22	4-6	0,10	0,12	0,62	0,10	1,1	0,17
22	6-10	0,08	0,07	0,66	0,11	0,92	0,00
22	10-15	0,02	0,03	0,56	0,09	0,81	0,11
22	15-20	0,16	0,03	0,63	0,10	0,8	0,00
22	25-30	0,03	0,03	0,54	0,08	0,8	0,12
23	0-2	0,16	0,17	0,58	0,22	1,3	0,17
23	2-4	0,19	0,19	0,62	0,16	1,3	0,14
23	4-6	0,13	0,19	0,62	0,14	1,3	0,21
23	6-10	0,09	0,15	0,66	0,09	1,2	0,21
23	10-15	0,09	0,10	0,68	0,10	0,93	0,00
23	15-20	0,06	0,09	0,66	0,12	0,91	0,00
23	25-30	0,12	0,12	0,64	0,09	0,94	0,00
24	0-2	0,13	0,11	0,63	0,16	1	0,00
24	2-4	0,20	0,09	0,65	0,12	0,89	0,00
24	4-6	0,05	0,08	0,65	0,10	0,85	0,00
24	6-10	0,12	0,10	0,37	0,11	0,94	0,24
24	10-15	0,28	0,31	0,42	0,11	1,4	0,28
24	15-20	0,19	0,08	0,37	0,17	1,1	0,27
24	25-27	0,23	0,64	0,42	0,11	1,4	0,00
25	0-2	0,20	0,18	0,31	0,22	1,2	0,30
25	2-4	0,22	0,21	0,26	0,16	1,2	0,34
25	4-6	0,26	0,22	0,44	0,13	1,2	0,15
25	6-10	0,27	0,22	0,51	0,13	1,2	0,07
25	10-15	0,25	0,20	0,92	0,10	1,1	0,00

25	15-20	0,11	0,14	0,59	0,07	0,98	0,07
25	25-27	0,11	0,18	0,57	0,09	1	0,05
26	0-2	0,24	0,18	1,05	0,36	1,4	0,00
26	2-4	0,32	0,19	1,09	0,34	1,5	0,00
26	4-6	0,35	0,19	0,52	0,27	1,4	0,06
26	6-10	0,45	0,25	0,61	0,23	1,4	0,00
26	10-15	0,38	0,26	0,91	0,20	1,3	0,00
26	15-20	0,35	0,29	0,52	0,17	1,4	0,07
26	25-30	0,33	0,35	0,32	0,16	1,4	0,24
27	0-2	0,23	0,29	0,40	0,42	1,5	0,16
27	2-4	0,39	0,29	0,62	0,23	1,4	0,00
27	4-6	0,35	0,32	0,95	0,18	1,4	0,00
27	6-10	0,27	0,21	0,56	0,14	1,3	0,12
27	10-15	0,17	0,21	0,40	0,12	1,1	0,20
27	15-20	0,14	0,21	0,48	0,12	1,1	0,15
27	25-30	0,12	0,17	0,51	0,11	1	0,09
28	0-2	0,07	0,19	0,25	0,28	1,1	0,31
28	2-4	0,08	0,18	0,23	0,19	1,1	0,42
28	4-6	0,15	0,21	0,71	0,12	1,1	0,00
28	6-10	0,07	0,09	0,76	0,07	0,88	0,00
28	10-15	0,03	0,05	0,48	0,06	0,81	0,19
28	15-20	0,03	0,06	0,82	0,08	0,83	0,00
28	25-28	0,04	0,09	0,87	0,11	0,87	0,00
29	0-2	0,11	0,24	0,86	0,51	1,3	0,00
29	2-4	0,19	0,22	1,04	0,32	1,3	0,00
29	4-6	0,24	0,25	0,74	0,20	1,4	0,00
29	6-10	0,27	0,27	0,87	0,23	1,3	0,00
29	10-15	0,20	0,26	0,77	0,14	1,1	0,00
29	15-20	0,14	0,18	0,89	0,11	1	0,00
30	0-2	0,04	0,11	0,53	0,21	0,98	0,09
30	2-4	0,03	0,10	0,60	0,09	0,91	0,09
30	4-6	0,02	0,04	0,34	0,07	0,83	0,35
30	6-10	0,04	0,07	0,53	0,10	0,76	0,02
30	10-15	0,06	0,10	0,54	0,10	0,86	0,06
31	0-2	0,05	0,12	0,57	0,26	1,1	0,10
31	2-4	0,05	0,11	0,58	0,14	1	0,13
31	4-6	0,13	0,15	0,61	0,14	1,1	0,08
31	6-10	0,10	0,26	0,39	0,15	1,4	0,51
31	10-15	0,32	0,35	0,65	0,14	1,5	0,04
31	15-20	0,30	0,33	0,64	0,16	1,4	0,00
32	0-2	0,02	0,06	0,58	0,14	0,89	0,08
32	2-4	0,02	0,07	0,55	0,11	0,77	0,02
32	4-6	0,04	0,08	0,49	0,12	0,81	0,08
32	6-10	0,08	0,12	0,50	0,12	0,9	0,08

32	10-15	0,22	0,19	0,50	0,14	1,1	0,05
32	15-19	0,37	0,21	0,48	0,12	1,2	0,03



Figur 1. Djupkurvor i vikarna enligt vattendjup som mäts under provtagning av vatten och sediment (denna studie).